

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02), созданного на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)
от 25 декабря 2024 г. (протокол № 8)

Защита диссертации Ельянова Артёма Евгеньевича
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
«Динамика и структура фронта водородно-воздушного пламени в каналах и плоских
зазорах»
Специальность 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 24.1.193.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2).
Протокол № 7 от 25 декабря 2024 г.

Диссертационный совет 24.1.193.01 (Д 002.110.02) утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 11.04.2012 г. № 105/нк в составе 31 человека. На заседании присутствуют 26 человек, из них 13 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 11 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

Председатель – председатель диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02) академик РАН, д.ф.-м.н., профессор Петров О.Ф.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02) к.ф.-м.н. Тимофеев Алексей Владимирович

1.	Петров О.Ф.	д.ф.-м.н., проф., академик РАН	1.3.9, техн. науки	Присутствует
2.	Андреев Н.Е.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.9, физ.-мат. науки	Присутствует
3.	Храпак А.Г.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.14, физ.-мат.науки	Присутствует
4.	Тимофеев А.В.	к.ф.-м.н.	1.3.9, техн. науки	Присутствует
5.	Агранат М.Б.	д.ф.-м.н.	1.3.14, техн. науки	Подключен
6.	Амиров Р.Х.	д.ф.-м.н., ст.н.с.	1.3.9, физ.-мат.науки	Подключен
7.	Беляев И.А.	к.т.н.	1.3.9, физ.-мат.науки	Присутствует
8.	Вараксин А.Ю.	чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.,	1.3.14, физ.-мат.науки	Присутствует
9.	Васильев М.М.	д.ф.-м.н.	1.3.9, физ.-мат.науки	Подключен
10.	Васильев М.Н.	д.ф.-м.н., доцент	1.3.14, техн. науки	Подключен
11.	Василяк Л.М.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.9, техн. науки	Присутствует
12.	Гавриков А.В.	д.ф.-м.н., доцент	1.3.9, техн. науки	Присутствует
13.	Голуб В.В.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.14, техн. науки	Присутствует
14.	Грязнов В.К.	д.ф.-м.н., ст.н.с.	1.3.14, физ.-мат.науки	Подключен
15.	Дьячков Л.Г.	д.ф.-м.н.,	1.3.9, техн. науки	Присутствует
16.	Еремин А.В.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.14, физ.-мат.науки	Присутствует

17.	Зейгарник Ю.А.	д.т.н., старший научный сотрудник	1.3.14, техн. науки	Отсутствует
18.	Зеленер Б.Б.	д.ф.-м.н.,	1.3.9, техн. науки	Присутствует
19.	Зобнин А.В.	д.ф.-м.н.,	1.3.9, физ.-мат.науки	Присутствует
20.	Иосилевский И.Л.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.9, физ.-мат.науки	Подключен
21.	Киверин А.Д.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.14, физ.-мат.науки	Присутствует
22.	Лагарьков А.Н.	д.ф.-м.н., проф., академик РАН	1.3.9, физ.-мат.науки	Отсутствует
23.	Левашов П.Р.	д.ф.-м.н.	1.3.14, физ.-мат.науки	Присутствует
24.	Ломоносов И.В.	чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.	1.3.14, техн. науки	Отсутствует
25.	Медин С.А.	д.т.н., проф.	1.3.14, техн. науки	Подключен
26.	Норман Г.Э.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.9, физ.-мат.науки	Присутствует
27.	Пикуз С.А.	к.ф.-м.н.	1.3.9, физ.-мат.науки	Отсутствует
28.	Савватимский А.И.	д.т.н.	1.3.14, техн. науки	Подключен
29.	Стегайлов В.В.	д.ф.-м.н.,	1.3.9, физ.-мат.науки	Подключен
30.	Филиппов А.В.	д.ф.-м.н., проф.	1.3.9, физ.-мат.науки	Присутствует
31.	Яньков Г.Г.	д.т.н., старший научный сотрудник	1.3.14, физ.-мат.науки	Отсутствует

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации научного сотрудника лаборатории 20 – физической газовой динамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН) Ельянова Артёма Евгеньевича на тему «Динамика и структура фронта водородно-воздушного пламени в каналах и плоских зазорах». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Диссертация выполнена в лаборатории 20 – физической газовой динамики ОИВТ РАН (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2, jiht.ru).

Научный руководитель:

Голуб Виктор Владимирович – проф., д.ф.-м.н., заведующий лабораторией 20 – физической газовой динамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук, г. Москва.

Официальные оппоненты:

Минаев Сергей Сергеевич - гражданин РФ, главный научный сотрудник лаборатории микроргорания Департамента энергетических систем Политехнического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» (ФГАОУ ВО ДВФУ; 690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10).

Аксенов Виктор Серафимович – гражданин РФ, к.ф.-м.н., кандидат физико-математических наук, доцент кафедры химической физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный институт «МИФИ» (НИЯУ МИФИ; 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (ФГБОУ ВО МГУ; 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1).

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.ф.-м.н. Минаев С.С. и к.ф.-м.н. Аксенов В.С., научный руководитель Ельянова А.Е. проф., д.ф.-м.н. Голуб В.В.

СТЕНОГРАММА

Председатель

Уважаемые члены совета и все присутствующие. Мы продолжаем заседание о присуждении ученой кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 теплофизика и теоретическая теплотехника. Так, слово Алексею Владимировичу для рассказа о всех представленных соискателем материалах.

Ученый секретарь

(Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ).

Экспертная комиссия рассмотрела работу и дала заключение о соответствии работы тематики диссертационного совета и о возможности её защиты в нашем диссертационном совете. Диссертационная работа я была принята к защите 16.10.2024. В аттестационном деле имеются все необходимые документы. С вашего позволения, все документы зачитывать не буду. Если есть вопросы или пожелания какие-то документы зачитать, прошу сообщить. Готов ответить и зачитать.

Председатель

Так, пожалуйста, есть ли вопросы к Алексею Владимировичу? Если нет, тогда слово предоставляется Артёму Евгеньевичу Ельянову для изложения основных положений диссертации пожалуйста.

Ельянов А.Е.

Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Ельянова А.Е. имеется в деле).

Председатель

Артём Евгеньевич, спасибо. Так, сейчас мы переходим к обсуждению. Пожалуйста, кто хотел бы задать вопросы? Андрей Вячеславович, пожалуйста.

Зобнин А.В.

Я бы хотел задать такой вопрос, уточняющий сначала, когда вы говорили в первой части о скорости распространения пламени, что вы имели в виду? Это вот форма пламени не менялась?

Ельянов А.Е.

Классическим представлением именно является крайняя часть, он так и называется кончик, он же «flame-tip» тип, его скорость рассматривалась. Здесь могу дать комментарий, что с развитием методов распознавания изображений исследователи начинают уже следить за скоростями в различных точках. Здесь именно рассматривалась крайняя точка, что для пальцеобразного, что, собственно, самое удалённое для обратного.

Зобнин А.В.

Второй вопрос: предположение несжимаемости газа — это в каких условиях выполняется? То есть, когда уже эта модель перестает работать, когда надо учитывать сжимаемость?

Ельянов А.Е.

В данном случае предположения сугубо, исходя из того, что скорости у нас значительно меньше скорости, звук, соответственно, я думаю, при переходе к более большим скоростям надо будет уже, естественно, это учитывать.

Зобнин А.В.

Ну и, наверное, ещё предполагается, что открытый канал?

Ельянов А.Е.

Да, и это, то есть, соответственно, никакие волны там не «гуляют».

Председатель

Так, ещё вопросы, пожалуйста. Анатолий Васильевич, пожалуйста.

Филиппов А.В.

У меня тоже вопрос про скорость. Что такое скорость диффузии молекул водорода?

Ельянов А.Е.

Да, я согласен с вопросом. Я понимаю, откуда он взялся. В данном случае это взято как табличная величина из работ, опубликованных в HySafe. Это некая скорость, с которой молекулы водорода перемещались линейно. То есть для того, чтобы максимально просто это оценить, это взято вот так. Термин, он обсуждается, в том числе, вот была представлена работа из ФИАНа. И там было обсуждение, в своё время после доклада в институте, который здесь происходил. Пришли к тому, что надо сравнивать какие-то скорости. Была взята эта величина ради сугубо сравнения по одной и той же величине, одной и той же размерности. Естественно, это надо уходить в уравнение диффузии. Вообще оно приводится как коэффициент диффузии, умноженный на температуру в степени. Данной степени в той же работе, откуда я ссылался, это $3/2$, в различных расчётных работах это варьируется. Здесь это сугубо так.

Председатель

Павел Ремирович, пожалуйста.

Левашов П.Р.

Скорее вопрос ради удовлетворения любопытства. Вот бывают ли пламена, которые не видны глазом? Ну то есть только вот в инфракрасную камеру можно увидеть, и какая минимальная температура пламени вообще возможна, чтобы это можно было горение?

Ельянов А.Е.

Здесь температура у меня не оценивается как раз-таки из-за того, что я работаю на очень низких временах экспозиции камеры, это требует свои дополнительные калибровки, то есть она пересчитывает интенсивность в температуру после калибровки с абсолютно черным телом. Здесь что установить абсолютно учёное тело, в данную камеру сгорания не представлялось возможным. Что на таких экспозициях это откалибровать тоже, в общем, уходило погрешность, все это было не очень хорошо, соответственно, отказались от такого представления. Ну, вообще само по себе водородное пламя, собственно, сколько я эти эксперименты делаю, глазами ни разу не было видно. Это все инфракрасная визуализация по поводу нижней оценки, температуры, горения затрудняюсь ответить, это не про эту работу, а так мы проводим различного рода исследования, нам надо будет углубиться.

Председатель

Спасибо. Так, у меня вот продолжение вопроса, так сказать, понятно, что химия будет отличаться, но вот пропан-воздушное пламя, с которым мне приходилось сталкиваться, оно, в принципе, тоже как окраса не имеет, но очень хорошо видна зона горения. Зона неравновесности, где, так сказать, радикалы, излучают такое вот синее характерное свечение. А здесь вот неравновесности такой, так сказать, нет?

Ельянов А.Е.

Ну вообще толщина как бы, как оценённая, опять же, теоретически толщина фронта пламени водородно-воздушно известная порядка микрометров. Мы проводили работу, пытались получить толщину фронта пламени на основе вот этих изображений. Если я думаю вернуться к вот этим графикам. Это не толщина фронта, да, это, соответственно, излучают продукты сгорания, они остывают и вот на таком расстоянии они успевают остыть. Непосредственно получить фронт пламени, вот как это видно в метане, в данном случае у меня ни разу не получалось. Мы оценивали интенсивность излучения непосредственно водорода с учётом времен релаксации. Все это смотрели, но в эксперименте, в том числе с учётом временных экспозиций камеры, это всегда так смазано.

Председатель

Понятно, так, ещё один способ увидеть невооружённым глазом - это по рефракции. Показатель преломления отличается от температуры, должно быть видно на просвете как дрожание.

Ельянов А.Е.

Мы сравнивали теневой и инфракрасный метод. Отличаются. Есть в этом отличие и фронт пламени, когда его визуализируем теневым методом. Действительно, отступает, как бы находится дальше, но все равно порядки величин гораздо больше неких химических толщин. И с чем это связано, может быть, опять же с неточностью эксперимента, скоростями реакций и временем экспозиции камеры. Но пока, пока для нас загадка. Работаем.

Председатель

Так, ну пожалуйста, Иван Александрович.

Беляев И.А.

Два вопроса. Там будет один с точки зрения актуальности, технической значимости в своей работе, поговорить о нескольких топологиях горения пальцеобразное, обратное-пальцеобразно. Если говорить о работе двигателей внутреннего сгорания, то тогда какая из этих технологий обеспечивает лучшую полноту сгорания?

Ельянов А.Е.

Изначально, вот как раз кольцевое это воспламенение, оно рассматривалось как форкамерное воспламенение в поршневых двигателях. Собственно, как развитие этой истории. Почему, как раз обратное кольцеобразное пламя быстрее. Одно из объяснений, которое мы этому нашли, это начальная его стадия, что площадь фронта пламени на четверти тора, она больше, чем площадь фронта полусферы. Соответственно, данный режим, наверное, сжигал бы. Ну, то есть именно по объёму, говорить про полноту сгорания, как, сколько точно водорода сгорело, я здесь боюсь совершенно, это не про нас я там потеряюсь с точки зрения вот именно объёмного, наверное, да, все-таки топология вот этого кольцевого воспламенения будет лучше.

Беляев И.А.

Понятно. И второй вопрос. В разных геометриях горения вы рассматриваете разный состав смеси горючих, как определялся выбор: 12 процентов, 4 мм?

Ельянов А.Е.

Ну, во-первых, задача безопасности в закрытой камере сгорания сжигать богатую смесь, у которой там коэффициент расширения 5–6 раз, ну, как-то выглядело небезопасно. В открытой трубе, естественно, это все уходит в атмосферу. Касаемо плоских зазоров. Этот эффект распада, он наблюдается именно в ультра-бедных смесях, когда вот баланс, количество горючего и теплоотвода где-то находится на грани, так что он локально вот затухает. В трубах: 12% изначально выбирали, потому что скорость распространения и скорость визуализации хорошо совпадали, получалось большое количество точек. Дальше в процессе экспериментов: то есть 12 нормально, 13 нормально. Попробуем 15. Вот хорошо. 20 уже страшно стало - шаг назад. В первую очередь, речь, естественно, об этом. Если вообще говорить про практическое применение водорода, на данный момент оценивается, что водород как индивидуальное топливо сам по себе экономически невыгоден. Возможно, есть речь о его малых добавках в углеводороды, как раз в районе вот этих, о которых мы сейчас говорим. Так что можно вот так это связать с актуальностью и практическим применением.

Беляев И.А.

Спасибо.

Председатель

Ещё желающие, да, пожалуйста, Алексей Дмитриевич.

Киверин А.Д.

Да, Артём Евгеньевич, вот вы в самом конце, да, вашего доклада указали, на сопоставление данных разных экспериментальных групп, со своими тоже, да, в том числе, указали, что разные материалы, стенок используются. Вот, все-таки вот такой вот более жёсткое такое можно заключение сделать, что основным механизмом распада является потеря тепла на стенках.

Ельянов А.Е.

Вообще так оно так оно и есть, что такие же эксперименты в открытом пространстве, без потерь стенки, они превращаются во всплывающие пламена. Но, говоря о распаде, естественно, речь в первую очередь определяется потерями тепла.

Киверин А.Д.

Ваша новизна есть в этом или об этом все говорят, это более-менее понятно?

Ельянов А.Е.

Проблема в том, что тяжело непосредственно оценить. То есть потоком тепла это оценивается. Буквально недавно вышла статья: испанцы с немцами пытались это оценить, довели все опять до толщины зазора и каких-то размеров. Оценить непосредственно, сколько тепла выделилось, сколько ушло. Мы сами пока думаем, как это сделать, посчитать. У нас уже есть идеи на продолжение работы с установкой датчиков теплового потока, с изменением, соответственно, металлов подложки, соответственно, варьированием температуры, теплопроводности. У меня используется стекло и пластик, у немцев плексигласс, там на просто на один порядок отличается теплопроводность.

Киверин А.Д.

Но предложенные вами критерии вы не пробовали применить для обработки чужих результатов?

Ельянов А.Е.

Мне не хватает здесь данных, потому что здесь учитывается периметр. Если еще на чужих картинках я смогу посчитать скорость фронта пламени в момент времени. Естественно, никто не показывает столько чтобы все остальные могли с этим работать. Вот, вот картинки и какой масштаб этого всего, остается только гадать. Так что здесь, в принципе, идея хорошая. Спасибо.

Председатель

Так, есть ещё вопросы? Пожалуйста. Наверное, достаточное количество вопросов. Тогда мы переходим. Так, спасибо за Ваш доклад. И слово предоставляется научному руководителю, доктору физико-математических наук Виктору Владимировичу Голубу, пожалуйста.

Голуб В.В.

Выступление научного руководителя не стенографируется. Положительный отзыв Голуба В.В. имеется в деле)

Председатель

Спасибо, Виктор Владимирович. Слово предоставляется Алексею Владимировичу Тимофееву для оглашения ряда документов, поступивших в совет. Пожалуйста.

Ученый секретарь

Дорогие коллеги, в деле имеется заключение организации, в которой выполнялась работа. Это заключение Объединённого института высоких температур, если позволите, в этом документе и в следующих буду пропускать достаточно подробное описание сути работы, результатов и списка публикаций, значимости и так далее, потому что мы сейчас непосредственно послушали и сам доклад, и ответы на вопросы, и даже выступления научного руководителя. Буду переходить только к формально значимым вещам.

К формальностям. Это у нас, по заключению Объединённого института высоких температур, было принято следующее заключение: диссертация «Динамика и структура фронта водородно-воздушного пламени в каналах и плоских зазорах» Ельянова Артёма Евгеньевича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 теплофизика и теоретическая теплотехника. Заключение принято на заседании семинара ОИВТ РАН под руководством академика Олега Федоровича Петрова, подписано председателем семинара Олегом Фёдоровичем Петровым, учёным секретарём и заверена заместителем директора ОИВТ РАН по научной работе Михаилом Михайловичем Васильевым.

Кроме того, в деле имеется отзыв ведущей организации. Ведущей организацией выступил Московский государственный университет имени Ломоносова. Отзыв составил доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры газовой и волновой динамики, заведующий лабораторией волновых процессов механико-математического факультета Московского государственного университета Николай Николаевич Смирнов. Опять же, если позволите, пропущу описание и перейду к замечаниям. Первое - результаты первой главы выглядят несколько разрозненно. Проведено исследование с двенадцатью и тринадцатью обдуманными процентными смесями, с фиксированной шириной зазора. Ну, но при варьировании ширины зазора использовались смеси с пятнадцатью и двадцатью объёмным процентным содержанием водорода данный выбор смесей затрудняет

проведение сравнения результатов. Форма отдельных ячеек — это второе замечание — фронта пламени в виде колпачков обосновывается путём сравнения скорости движения ячеек и скорости диффузии водорода, при этом скорость диффузии взята как табличная величина без учёта концентрации водорода в смеси. Также не учитываются потоки газа несгоревшей смеси, возникающие при движении ячеек пламени. Третье, в тексте диссертации встречается ряд опечаток, однако они не критичны для восприятия сути изложенного отмеченные замечания не снижают общие ценности и значимости работы, носят скорее технический характер.

Следующий абзац встречается и в следующих отзывах, поэтому, если позволите, прочитаю его один раз, а в следующих отзывах не буду повторяться. Диссертация представляет собой законченную научно квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным пункту 9 положений о порядке присуждения учёных степеней. Её автор, Ельянов Артём Евгеньевич, заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 теплофизика и теоретическая теплотехника.

Также было получено 4 отзыва на автореферат диссертации Артёма Евгеньевича Ельянова. Опять же буду пропускать полное описание.

(Первый отзыв) Первый отзыв получен от ведущего научного сотрудника математического института имени Стеклова, доктора физ-мат. наук Владимира Васильевича Маркова. Все отзывы положительные, во всех есть замечания по этому отзыву замечания следующие. Первое: на странице 3, 7, 14, 20 имеются опечатки, которые, впрочем, не искажают содержание. Второе, в работе для периферийного воспламенения используется установленная в канал пластина, которая формирует периферийный зазор, однако изначально воспламенение осуществлялось искрой у закрытого торца на некотором расстоянии от пластины данный тип воспламенения подразумевает формирование фронта пламени, огибающего пластину. Огибающий фронт может также рассматриваться в виде струй, выходящих в открытое пространство канала с заданной начальной скоростью. В работе этот механизм не учитывается и не рассматривается влияние расстояния искры до пластины, которая может влиять на начальную скорость фронта и образующую форму обратного пальцеобразно фронта пламени за ней. Третье замечание. В части работы, посвящённой распространению фронта пламени в плоских зазорах, говорится о балансе между теплом, выделившимся при сгорании смеси, и теплом, поглощённым стенками камеры сгорания, однако количественной оценки этих параметров не приводится в явном виде. Эти замечания не снижают общего положительного впечатления о дистанционной работе.

(Второй отзыв) Следующий отзыв на автореферат получен от главного научного сотрудника лаборатории горения дисперсных систем, Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения имени Мержанова Российской академии наук от доктора химических наук Николая Михайловича Рубцова. Указаны следующие замечания. Первое: имеются опечатки, затрудняющие восприятие работы, например, страница 7. Приводится цитата когда «фронт пламени представляет собой кольцеобразную структура». «Показаны», должно быть «измерены» скорости фронта пламени в зависимости от концентрации. На странице 14 «проводились эксперименту по распространению пламени». На странице 20, «построена аналитическая модели обратного пыльце образного пламени». Второе замечание. При рассмотрении реакции горения водорода не учитывается её разветвлённый цепной характер, а именно важная роль атомов и радикалов в химическом превращении. Действительно, если атом водорода гибнет на стенке реактора, а для плоского зазора этот процесс важен и при атмосферном давлении. Этот атом не будет участвовать в цикле реакций, приводящих к воспроизводству этих атомов, то есть не осуществится химическое превращение, приводящее к выделению тепла. Таким образом, процесс гетерогенной гибели атомов формально эквивалентен дополнительным потерям тепла. Эти потери следовало бы

учесть, например, в аналитической модели обратного пальцеобразного пламени - глава 1 - и для получения критерия, определяющего распад фронта пламени - глава 2. Данное замечание автору следует принять во внимание при дальнейшем развитии исследований. Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления о диссертационной работе.

(Третий отзыв) Следующий отзыв на автореферат получен от доцента кафедры экспериментальной физики, ведущего научного сотрудника Научно образовательного центра политехнического института Сургутского государственного университета, кандидата физмат наук Олега Юрьевича Семёнова. В качестве замечаний указаны следующие. Первое не приведены температурные характеристики на основе ик излучения зарегистрировано камерой. Второе. Не представлено полное описание разницы между пальцеобразным и тюльпанообразным пламенем. Третье. В работе можно выделить недостатки при оформлении текста. Все перечисленные замечания носят рекомендательный характер, не снижают значимость дистанционной работы.

(Четвертый отзыв) И четвертый отзыв на автореферат получен от старшего научного сотрудника лаборатории гетерогенного горения Федерального исследовательского центра химии. И 4 отзыв на автореферат получен от старшего научного сотрудника лаборатории гетерогенного горения федерального исследовательского центра химической физики имени Семёнова российской академии наук координата физмат наук, старшего научного сотрудника Анатолия Михайловича Тереза. В отзыве указаны следующие замечания. Первое недостаточно подробно изложены, определены параметры, представляющие результаты диссертации. Рецензенту приходится обращаться к полному тексту диссертации для их понимания. Второе. На странице 7 фраза распад фронта пламени возникает в связи с локальным затуханием искривлённого фронта пламени согласно механизму термодиффузионной неустойчивости полностью не раскрывает изучаемый процесс, поскольку не включает в себя влияние химической кинетики. Здесь даётся ссылка на монографию Франк-Каменецкого о диффузии теплопередачи в химической кинетике 87 года. Третье замечание. На странице 13 при рассмотрении ограничений при построении аналитической модели обратного пальцеобразного пламени не упоминается влияние гетерогенных процессов на поверхности, способных вносить примесь активных атомов и радикалов. Все перечисленные замечания носят рекомендательный характер, и не снижают общей значимости диссертационной работы. Больше отзывов на автореферат получено не было.

Председатель

Алексей Владимирович, спасибо. Так, теперь слово предоставляется Артёму Евгеньевичу для ответа на замечания в поступивших отзывах. Пожалуйста.

Ельянов А.Е.

Во-первых, благодарю за отзывы, замечания организации людей. То, что мне даже лично звонили и интересовались работой. В большинстве своём сейчас так получилось, что вопросы из зала совпали с замечаниями. Все замечания по опечаткам принимают, с ними согласен.

Что касается выбора исследуемых смесей, как, я уже сказал в первую очередь это задавалось вопросами безопасности и скоростей съёмки регистрации, чтобы можно было получить как можно больше точек. Это отзыв и замечания из ведущей организации. Скорость диффузии водорода также вот взята как некая величина, которой можно сравнивать скорость движения ячеек, потому что у Зельдовича вводится некая дрейфовая скорость шарообразных пламён, соответственно, которая должна соотноситься со скоростью диффузии, чтобы этот шар мог существовать. По оценке влияния потоков газа: она ограничена возможностями имеющейся диагностики. Учитывать PIV и термоанемометрию невозможно в данной геометрии.

Замечания Николая Михайловича Рубцова и Анатолия Михайловича Терезы, в целом, я думаю, можно свести к некой общей задаче, что надо было рассмотреть химическую кинетику. Здесь для описания процессов как гашения, так и горение рассматривается тепловой механизм. Его оказывается достаточно для объяснения наблюдаемых эффектов. В дальнейшем, конечно, учёт химической кинетики может лечь в основу продолжения исследований.

Замечание Владимира Васильевича про запластинное пространство: с ним тоже согласен, естественно, в рамках данной модели, что и вопрос терминологии форкамерное это зажигание, щелевое, кольцевое, периферийное: можно применить, наверное, любой термин. В данной модели рассмотрения было признано технически оптимальным что касается баланса между теплом выделившимися и потерями тепла в стенки. Также об этом сейчас вот я отвечал на вопрос Алексея Дмитриевича, при этом, да, есть критерий распада, который учитывает потери тепла в виде параметра толщины, зазора и толщины фронта пламени.

Олег Юрьевич отметил, что не приведены температурные характеристики. Могут сказать, что в данном случае малые размеры камеры сгорания и невозможность калиброваться, использовать абсолютно чёрное тело. Описание между пальцеобразным тюльпанообразным пламенем, оно опущено, потому что мы рассматриваем именно начальный этап, когда идёт о пальцеобразном пламени. Дальнейший уже переход в тюльпанообразное здесь сейчас не учитывается.

Ещё раз благодарю за отзывы и замечания.

Председатель

Так, Артём Евгеньевич, спасибо Вам. Так, теперь переходим к отзывам официальных оппонентов. Слово предоставляется официальному оппоненту, кандидату физико-математических наук Аксёнову Виктору Серафимовичу, Московский инженерно-физический институт, пожалуйста.

Аксенов В.С.

Добрый день, диссертация представленная соответствует современным стратегиям развития водородной энергетики. Она посвящена распространению фронта, пламени в каналах, трубах и в щелевых зазорах. Общие места про диссертацию, с которой я ознакомился, я не буду, повторять, значит, что там главное диссертация состоит из 2 глав. Они связаны предметом исследования бедными водородно-воздушными смесями. Эти смеси представляют собой достаточно сложные и проявляют себя в горении, как вы видели, очень многообразно. Это связано с тем, что там сочетаются и конкурирует газодинамическая неустойчивость неустойчивость термодиффузная. Скорость горения в смеси изменяется почти в 10 раз, так сказать, при небольшом изменении концентрации. И к тому же эти пламена не видны невооружённым глазом. Поэтому даже многочисленные данные, которые представлены в литературе, они достаточно плохо систематизированы. Диссертанту удалось, так сказать, выделить интересные моменты, создать критерии распада, систематизировать результаты своих исследований и согласовать их с исследованиями, ранее приведёнными. Хотелось бы мне, как эксперту метрологу, отметить достаточно бережное отношение к погрешностям, к обработке результатов. Кроме самой аппаратуры, которая достаточно оригинальная, и я не видел в литературе вот именно таких постановок задачи. Большое внимание было уделено именно погрешностям измерений как к вопросу составления водородно-воздушных смесей, где 1% это уже десятки процентов скорости горения, так и в том, что ему удалось из инфракрасной камеры выжать результаты из каждого пикселя. При этом не просто, так сказать, какое-то тривиальное изображение, а были сняты тестовые образцы и проведена калибровка. Теперь по замечаниям. Я их просто прочитаю, они совпадают частично с предыдущими.

(Отзыв официального оппонента не стенографируется. Положительный отзыв Аксенова В.С. имеется в деле)

Замечания надо прочитать полностью. Наряду с мелкими описками в тексте литобзора и подписи к рисункам встречались слова, которые не удалось однозначно интерпретировать в контексте. Например, «свеча подключалась к источнику высокого напряжения, к коммутатору, генератору импульсов». Не очень подробно схема воспламенения. К опечаткам следует отнести употребление термина пальцеобразного пламени, вместо обратного пальцеобразного пламени в середине последнего абзаца, страница 46 диссертации. Рекомендации автора по использованию поворота камеры сгорания для предотвращения детонации противоречит смыслу указанной статьи, на которую ссылается диссертант. Статья эта номер 76, посвящена использованию поворотов как эффективного инициатора детонации. Третье замечание. Горючие смеси составлялись по манометрам относительного давления без учёта текущего атмосферного давления, причём приборы, по которым осуществлялось составление смеси, имеют две разные шкалы: в мегапаскалях и в барах. Небольшие погрешности состава смеси, которые могут возникать, при этом приводят к существенным неконтролируемым изменениям скорости горения водородной смеси. Четвёртое замечание. В выводах главы один не прозвучало, что запластинное пространство камеры сгорания формирует форкамеру со всеми сопутствующими механизмами сжигания и турбулизации смеси.

Отмеченные недостатки не снижают ценности научной работы, диссертация представляет собой законченную научно квалифицированную работу, которая соответствует всем критериям установленным в положениях проекта присуждения учёных степеней, а её автор Ельянов Артём Евгеньевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата физмат наук по специальности 1 3 14 теплофизика и теоретическая теплотехника. Спасибо.

Председатель

Спасибо. Виктор Серафимович, спасибо вам. Теперь слово предоставляется Артёму Евгеньевичу для ответа на замечания, пожалуйста.

Ельянов А.Е.

Во-первых, большое спасибо Виктору Серафимовичу. Значит, что касается опечаток все это принимаю. По поводу того, что, да, несоответствие статьи, её указанию в тексте, это скорее стоит также отнести к опечаткам. Дело в том, что это и есть статья Виктора Серафимовича указано, что детонационная волна, когда она уже имеется в виду, естественно, сформировалась, распространяясь через изгиб, подвергать затуханию или временному ослаблению в тексте диссертации написана фраза «снижения детонации», которую следует читать как «ослабление детонации». Горючие смеси, когда они составлялись по манометрам с разными шкалами, это действительно используется манометры с разными шкалами, но один из них тот, который в барах, это цифровой манометр, в мегапаскалях стрелочный, соответственно, они использовались не одновременно, а последовательно. Уже непосредственно точное заполнение ёмкостью смесью делалось по цифровому с классом точности 0 25. Учёт атмосферного давления происходил путём соединения на начальном этапе после вакуумирования ёмкости с атмосферой. Также, мы уже говорили про за пластинное пространство камеры. В данном случае, если это принимать действительно как форкамеру, можно это отнести, наверное, к вопросу терминологии и что с замечанием согласен.

Председатель

Спасибо. Теперь слово предоставляется официальному оппоненту, доктору физико-математических наук Минаеву Сергею Сергеевичу Дальневосточного федерального университета. Будет выступление у нас в режиме дистанционном. Пожалуйста, Сергей Сергеевич, можно начинать.

Минаев С.С.

Да, да. Значит, действительно отмечаю, что диссертация интересна и важна в практическом отношении. Тема, поскольку сейчас водород действительно вызывают большой интерес и смеси водорода с метаном, так называемый Хитан, так сказать, это перспективы для использования в энергетике. Поэтому вот проблема зажигания, проблемы распространения пламени водородного около пределов очень важны. Я так сказать, может быть, перейду сразу к своим замечаниям, потому что вот эти работы вызвали большой интерес у людей, в частности, в ФИАНе, которые занимаются тоже водородным пламенем вблизи пределов. В ИТПМе, в ДВФУ эта тема тоже давно известная. Существует большое количество работ, посвящённое как раз горению вот таким ячеистым, когда в пламя разделяется на различные фрагменты на ячейки. То, что рассмотрено в данной диссертации, это горение в Хеле-Шоу ячейке, это принципиальное отличие от шариков пламени, поскольку шарик пламени может быть неподвижен, или дрейфовать с очень маленькой скоростью, в то время как в ячейке Хеле-Шоу сам шарик создаёт градиент концентрации и градиент температуры. И сам же движется в этом градиенте. Именно поэтому для шарика в свободном пространстве число Льюиса является ну, определяющим, да, а вот в ячейке Хеле-Шоу, как показано в этой диссертации, здесь очень важно учитывать и толщину зазора между пластинами, поскольку они определяют теплопотери. Вот я считаю, что этот результат очень интересный, очень важный. Также я отмечал в своём отзыве о том, что вот интересные результаты о том, что можно ускорить процесс воспламенения и скорость распространения пламени при кольцевом зажигании. У меня имеются замечания, которые, конечно, тоже касается текста и опечаток в тексте. *(Отзыв официального оппонента не стенографируются. Положительный отзыв Минаева С.С. имеется в деле)*

Принципиально вот такие есть вещи, например. На странице 95 диссертации написано, что «существует подход, при котором оценивается критическое число Льюиса, исходя от числа Зельдовича». Это совершенно странная фраза, потому что и Льюис и Зельдович – независимые параметры. Видимо, имелось в виду, что вот критерий неустойчивости, он зависит от произведения числа Зельдовича на число Льюиса без единицы. Неправильно написана эта фраза, хотя она очень важная, потому что для пламени в открытом пространстве это число именно является определяющим, оно должно быть меньше единицы. Именно тогда шарики существуют. По определениям тоже хотелось бы как-то понять, потому что в диссертации не отмечалось, что колпачки, которые наблюдаются, это вовсе не шарики, так как не имеют они никакого отношения к Зельдовичу. Больше того, после работы Зельдовича вышла работа Истратова, где было показано, что шариков пламени в принципе не может быть. И прошло очень много лет, почти 50 лет, когда они были обнаружены, и вот теоретическое объяснение принадлежит Полу Ронни, Букмастеру и Жулин. Именно они теоретически показали, что все-таки возможно, если учитывать теплопотери радиационные.

Данные замечания не снижают ценности полученных результатов я считаю, что диссертация представляет собой научные исследования на актуальную тему, и работа сама заслуживает положительной оценки, а квалификация её автора, присуждения учёной степени кандидатов физ.-мат. наук по специальности теплофизика и теоретическая теплотехника. Благодарю за внимание.

Председатель

Сергей Сергеевич, спасибо вам за Ваше выступление и детальные, подробные комментарии. Спасибо. Так, теперь слово предоставляется снова Артёму Евгеньевичу Ельянову для ответа на замечания.

Ельянов А.Е.

Спасибо большое, Сергей Сергеевич, за отзыв и замечания. Все, что касается опечаток, я с этим согласен и принимаю. У меня также вот у меня здесь приведены два ваших основных замечания. Что касается различных терминов шаровое, в целом замечание можно свести в единую линию повествования, потому что, что шаровые, что колпачковые, дрейфующие, пальцеобразные, как это было написано у Кузнецова, это термины, введённые различными учёными, то есть вот в данной работе эти данные других исследователей систематизируются. Те, кто писали, что это шаровые пламён и по этому поводу есть опубликованные статьи, да, полагают, что это такая форма. Пытаемся с этим разобраться. Собственно, с замечанием согласен. Все термины идут со ссылками на источник, где они, взятые. Мой основной термин, при котором я остаюсь - это колпалачкообразные пламёна, и он в целом он совпадает по идеологии с термином *cup-like flames*, которую озвучил Сергей Сергеевич из ФИАНа. Что касается подхода, оценки числа Льюиса, исходя из числа Зельдович, это тоже взято со ссылками на работы Кларка и вот достаточно свежая работы Сивашинского с Каганом. Речь идёт о критическом числе Льюиса. Оно рассматривается как некая зависимость числа Льюиса равном единица минус константа, делённая на число Зельдовича. Рассматривается это в рамках следствия математических изложений и в контексте диссертации это указано в обсуждении, что и число Льюиса плохо подходит для распространения фронта пламени в плоских зазорах и число Пекле и число Зельдовича, соответственно, нужен некий новый критерий, который работе и предлагается. Спасибо большое.

Председатель

Артём Евгеньевич, спасибо Вам. Теперь мы переходим к дискуссии по диссертации. Пожалуйста, что хотел бы выступить. Пожалуйста, Алексей Дмитриевич.

Киверин А.Д.

Да, уважаемые коллеги, я бы хотел поддержать работу и диссертанта, проголосовать за. В общем то, я с Артёмом Евгеньевичем знаком, в том числе и по некой совместной работе. Могу дать характеристику очень положительную как экспериментатора и как вообще научного сотрудника. Вполне его квалификация заслуживает присвоения учёной степени кандидата наук. Работа тоже хорошая, мы с ней поработали в комиссии нашего диссертационного совета. Ряд замечаний мы высказали, в том числе, что нужно критически относиться к чужим теоретическим работам. Вот, потому что эксперимент хороший, а иногда ссылки на какие-то сомнительные теоретические работы, они могут испортить впечатление, но я надеюсь, что Артём Евгеньевич это принял во внимание. В том числе и включая вот замечания последнего оппонента. В целом работа хорошая, диссертант заслуживает присвоения степени. Я буду голосовать за.

Председатель

Спасибо. Так, кто хотел бы ещё выступить? Так, Анатолий Васильевич, пожалуйста.

Филиппов А.В.

Я с работой Артёма Евгеньевича раньше не был знаком, но мне вот понравилось, как была оформлена презентация, прекрасные были слайды, все хорошо видно,

различно. Даже последний, там 32 слайд, где список публикаций тоже с хорошей стороны характеризует человека показывает его скромность, желание не выпячивает свои работы и так далее. А так, глобальная, действительно актуальная, интересная тема. Мы вот в ТРИНИТИ в рамках проекта занимались турбулентным пределом распространения пламени для того, чтобы подавить взрыв в водородных смесях, на атомных электростанциях, эта тема мне знакома, актуальная, интересная. Я буду голосовать за и призываю других тоже поддержать.

Председатель

Спасибо. Так, если ещё выступление, так, если нет, то мы двигаемся дальше. Заключительное слово предоставляется Артёму Евгеньевичу. Пожалуйста.

Ельянов А.Е.

Хотел бы поблагодарить, естественно, в целом, я думаю, всех причастных к созданию этой работы, этой защиты. И диссертационный совет, который на самом деле в оперативные сроки, учитывая, что это последняя неделя уходящего года и мне пошли навстречу и помогали. Коллегам по работе и по лаборатории. Очень много результатов обсуждалось в рамках лаборатории с научным руководителем. Виктору Владимировичу большое спасибо. Работа, мне самому очень понравилась. Я всегда болел какими-то машинками, техникой и закончить обучение в аспирантуре, сделав работу, которой актуальность можно связать с техникой и очень сильно это понравилось. Поэтому, естественно, это будет продолжаться. Поблагодарить тех, кто меня все это время, в том числе, поддерживал, это и семья, и родные, и сын, который, не давая спать ночами, видимо, хотел, чтобы я ночью сидел и думал о науке, как сделать все ещё лучше и качественнее. Спасибо маме, спасибо супруге. Все поддерживали, вот, особенно на последних этапах, быстро все это сделать. И при этом достаточно качественно. Ну, сейчас Алексей Дмитриевич сказал, что да, надо более критически относиться к чужим работам. Я позволю себе шутку, что, получив степень, я уже смогу кому-то что-то критически доказывать и в том числе обсуждать местами, может быть, и осуждать чужие работы. Спасибо.

Председатель

Артём Евгеньевич, спасибо. Так, теперь мы можем переходить к голосованию. Алексей Владимирович, вы прокомментируете?

Ученый секретарь

Дорогие коллеги, наше заседание, проводится в комбинированном очно-дистанционном режиме. Голосование проводится с использованием телекоммуникационных систем, то есть на сайте нашего института. Прошу всех присутствующих очно и дистанционно членов диссертационного совета войти под своим логином и паролем на сайт института, перейти на страницу и проголосовать. Вы можете это сделать на своих устройствах или на компьютере на сцене.

(Проводится процедура тайного голосования)

Председатель

Уважаемые коллеги, голосование завершилось. Алексей Владимирович сейчас сообщит его результаты.

Ученый секретарь

Всего присутствовало на заседании 26 членов диссертационного совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации 11, очно присутствовало

17 членов диссертационного совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации 6. Онлайн дистанционно присутствовало 9 членов диссертационного совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации 5. Получено 26 голосов, 26 за, 0 против, 0 воздержалось.

Председатель

Теперь мы должны утвердить, кто за утверждение протокола, прошу поднять руки, так против, воздержался, отлично.

(Протокол счетной комиссии утвержден единогласно).

Можно поздравить Артёма Евгеньевича с состоявшейся защитой. обсуждение проекта заключения и голосование по нему. Пожалуйста, кто хотел бы высказаться, какие замечания по проекту могут быть сделаны?

(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения)

Так, хорошо. Есть ли ещё замечания? Если нет, тогда перейдём к голосованию. Кто за то, чтобы принять за основу прошу голосовать. Против. Воздержался.

(Проект заключения принят единогласно).

Всем огромное спасибо за то, что мы 3 часа интенсивной работы и, конечно, с наступающим Новым Годом!

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.193.01 (Д 002.110.02), СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 25.12.2024г. № 8

О присуждении Ельянову Артёму Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Динамика и структура фронта водородно-воздушного пламени в каналах и плоских зазорах» по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 16.10.2024г., (протокол заседания № 6) диссертационным советом 24.1.193.01 (Д 002.110.02), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, (495) 485-8345, jiht.ru), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 105/нк от 11.04.2012г.

Соискатель Ельянов Артём Евгеньевич 1996 года рождения, в 2020 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Работает в должности научного сотрудника лаборатории № 20 – физической газовой динамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

В 2024 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук

Диссертация выполнена на базе лаборатории физической газовой динамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией физической газовой динамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук, Голуб Виктор Владимирович.

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории микроргорания Департамента энергетических систем Политехнического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», Минаев Сергей Сергеевич;
- кандидат физико-математических наук, доцент кафедры химической физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный институт «МИФИ», Аксенов Виктор Серафимович;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» в своем положительном заключении, составленном профессором кафедры газовой и волновой динамики, заведующим лабораторией волновых процессов механико-математического факультета ФГБОУ ВО МГУ им. М.В.Ломоносова д.ф.-м.н. Смирновым Николаем Николаевичем (утвержденном 13 ноября 2024г., проректором МГУ имени М.В. Ломоносова Федяниным А.А) указала, что теоретическая значимость определяется в первую очередь новизной полученных результатов. Представленные результаты могут использоваться для валидации расчетов. Интересны продемонстрированные структуры и формы фронта пламени. Практическая значимость заключается в том, что модель «обратного пальцеобразного» пламени может учитываться при конструировании водородных энергетических установок, например для повышения эффективности работы двигателей внутреннего сгорания. «Колпачкообразные» пламена могут распространяться в плоских зазорах и нести дополнительные риски при аварийном сценарии работы энергетических установок.

Результаты могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, в организациях, разрабатывающих энергетическое оборудование, в частности в Объединенном институте высоких температур РАН, Институте теплофизики СО РАН, компаниях ПАО «Газпром», ГК «Росатом» и «КАМАЗ».

Соискатель имеет 23 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 4 работы в рецензируемых научных изданиях и 7 тезисов в сборниках трудов конференций:

1. Володин В.В., Голуб В.В., Ельянов А.Е., Исследование распространения водородно-воздушного пламени в плоском зазоре методом инфракрасной визуализации //Теплофизика высоких температур. – 2024. – Т. 62. – №. 3. – С. 425-431.
2. A.Elyanov, V.Golub, V.Volodin, P.Alekhnovich, Decay of a hydrogen-air flame front to cup-like cells in a narrow horizontal gap //Process Safety and Environmental Protection. – 2024. – Т. 191. – С. 1872-1882.
3. A.Elyanov, V.Golub, V.Volodin, Premixed hydrogen-air flame front dynamics in channels with central and peripheral ignition //International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – Т. 47. – №. 53. – С. 22602-22615.
4. Володин В.В., Голуб В.В., Ельянов А.Е., Горение водородно-воздушных смесей в канале при кольцевом воспламенении //Теплофизика высоких температур. – 2022. – Т. 60. – №. 6. – С. 957-960.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г.Мержанова Российской академии наук** (Главный научный сотрудник лаборатории горения дисперсных систем, доктор химических наук Рубцов Н.М.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- имеются опечатки, затрудняющие восприятие работы. Например, Стр. 7. “когда фронта пламени представляет собой «пальцеобразную» структура”. Стр. 7. “Показаны (должно быть “измерены”) скорости фронта пламени в зависимости от концентрации”. Стр. 14. “проводились эксперименту по распространению пламени”. Стр. 20. “Построена аналитическая модели «обратного пальцеобразного» пламени”.

- при рассмотрении реакции горения водорода не учитывается её разветвленно-цепной характер, а именно важная роль атомов и радикалов в химическом превращении. Действительно, если атом водорода гибнет на стенке реактора (а для плоского зазора этот процесс важен и при атмосферном давлении), то этот атом не будет участвовать в цикле реакций, приводящих к воспроизводству этих атомов, т.е. не осуществится химическое превращение, приводящее к выделению тепла. Таким образом, процесс гетерогенной гибели атомов формально эквивалентен дополнительным потерям тепла. Эти потери следовало бы учесть, например, в аналитической модели «обратного пальцеобразного» пламени (Глава 1) и при получении критерия, определяющего распад фронта пламени (Глава 2). Данное замечание автору следует принять во внимание при дальнейшем развитии исследований.

2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Математический институт им. В.А. Стеклова Российской академии наук (ведущий научный сотрудник Математического института имени В.А. Стеклова РАН, доктор физико-математических наук Марков В.В.) – отзыв положительный, с замечаниями

- на стр. 3, 7, 14 и 20 имеются опечатки, которые, впрочем, не искажают содержание;

- в работе для периферийного воспламенения используется установленная в канал пластина, которая формирует периферийный зазор. Однако изначально воспламенение осуществлялось искрой у закрытого торца на некотором расстоянии от пластины. Данный тип воспламенения подразумевает формирование фронта пламени, огибающего пластину. Огибающий фронт может также рассматриваться в виде струй, выходящих в открытое пространство канала с заданной начальной скоростью. В работе этот механизм не учитывается и не рассматривается влияние расстояния искры до пластины, которое может влиять на начальную скорость фронта и образующуюся форму «обратного пальцеобразного» фронта пламени за ней.

- в части работы, посвященной распространению фронта пламени в плоских зазорах, говорится о балансе между теплом, выделившемся при сгорании смеси и теплом, поглощенным стенками камеры сгорания. Однако количественные оценки этих параметров не приводятся в явном виде.

3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (старший научный сотрудник лаборатории гетерогенного горения ФИЦ ХФ РАН, кандидат физико-математических наук Тереза Анатолий Михайлович) – отзыв положительный, с замечаниями.

- недостаточно подробно изложены и определены параметры, представляющие результаты диссертации. Рецензенту приходится обращаться к полному тексту диссертации для их понимания.

- На стр.7 фраза «Распад фронта пламени возникает в связи с локальным затуханием искривленного фронта пламени согласно механизму термодиффузионной неустойчивости» полностью не раскрывает изучаемый процесс, поскольку не включает в себя влияние химической кинетики (Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике / М: Наука. 1987.)

3. На стр. 13 при рассмотрении ограничений при построении аналитической модели «обратного пальцеобразного» пламени не упоминается влияние гетерогенных процессов на поверхности, способных вносить примесь активных атомов и радикалов.

4. **Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет»** (доцент кафедры экспериментальной физики, ведущий научный сотрудник Научно-образовательного центра Политехнического института Сургутского государственного университета, кандидат физико-математических наук Семенов Олег Юрьевич) – отзыв положительный, с замечаниями.

- Не приведены температурные характеристики на основе ик-излучения, зарегистрированного камерой.

- Не представлено полное описание разницы между «пальцеобразным» и «тюльпанообразным» пламенем.

- В работе можно выделить недостатки при оформлении текста.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- д.ф.-м.н. Минаев Сергей Сергеевич специалист по теоретическим и экспериментальным исследованиям в области горения газов, направленных на поиск эффективных и экологически чистых способов сжигания топлив.

1. Zakharov A. D., Fursenko R. V., Minaev S. S. Optimisation method for automatic selection of rate constants of global reaction mechanisms //Combustion Theory and Modelling. – 2023. – Т. 27. – №. 2. – С. 153-167.

2. Moroshkina, A. D., Ponomareva, A. A., Mislavskii, V. V., Sereshchenko, E. V., Gubernov, V. V., Bykov, V. V., Minaev, S. S. Determining the global activation energy of methane–air premixed flames //Combustion Theory and Modelling. – 2023. – Т. 27. – №. 7. – С. 909-924.

3. Moroshkina, A., Ponomareva, A., Mislavskii, V., Sereshchenko, E., Gubernov, V., Bykov, V., Minaev, S. Activation Energy of Hydrogen–Methane Mixtures //Fire. – 2024. – Т. 7. – №. 2. – С. 42.

- к.ф.-м.н. Аксенов Виктор Серафимович является признанным специалистом в области физики горения и детонации газовых смесей.

1. Frolov, S. M., Shamshin, I. O., Aksenov, V. S., Ivanov, V. S., Vlasov, P. A. Ion sensors for pulsed and continuous detonation combustors //Chemosensors. – 2023. – Т. 11. – №. 1. – С. 33.

2. Shamshin, I. O., Ivanov, V. S., Aksenov, V. S., Gusev, P. A., Frolov, S. M. Deflagration-to-detonation transition in a semi-confined slit combustor filled with nitrogen diluted ethylene-oxygen mixture //Energies. – 2023. – Т. 16. – №. 3. – С. 1098.

3. Shamshin, I. O., Ivanov, V. S., Aksenov, V. S., Gusev, P. A., Avdeev, K. A., Frolov, S. M. Mild Detonation Initiation in Rotating Detonation Engines: An Experimental Study of the Deflagration-to-Detonation Transition in a Semiconfined Flat Slit Combustor with Separate Supplies of Fuel and Oxidizer //Aerospace. – 2023. – Т. 10. – №. 12. – С. 988.

- на кафедре газовой и волновой динамики механико-математического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» проводятся исследования процессов горения и детонации газовых смесей. Под руководством профессора, д.ф.-м.н. Н.Н. Смирнова сотрудники кафедры принимали участие в первом крупномасштабном эксперименте NASA и Европейского космического агентства по горению в невесомости SAFFIRE.

1. Smirnov, N.N., Azatyan, V.V., Mikhhalchenko, E.V., Smirnova, M.N., Stamov, L.I., Tyurenkova, V.V. Safety of using hydrogen: Suppression of detonation in hydrogen-air mixtures // Acta Astronautica. – 2024. – Т. 224. – С. 69-81.

2. Smirnov, N.N., Azatyan, V.V., Nikitin, V.F., Mikhhalchenko, E.V., Smirnova, M.N., Stamov, L.I., Tyurenkova, V.V. Control of detonation in hydrogen-air mixtures // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – Т. 49. – С. 1315-1324.

3. Смирнов, Н.Н., Никитин, В.Ф., Михальченко, Е.В., Стамов, Л.И. Срыв развитой детонации водородно-воздушной смеси малой добавкой углеводородного ингибитора //Физика горения и взрыва. – 2022. – Т. 58. – №. 5. – С. 64-71.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- выявлено, что фронт водородно-воздушного пламени, распространяющегося в трубах и каналах при периферийном воспламенении, представляет собой форму «обратного пальцеобразного» пламени. Обнаружено, что «обратное пальцеобразное» пламя распространяется быстрее классического «пальцеобразного» пламени, возникающего при центральном воспламенении, в 2.3 раза быстрее в смеси с 12 об.% содержанием водорода и в 2.8 раза в смеси с 13 об.% содержанием водорода.

- определено оптимальное отношение площади пластины, формирующей кольцевую щель, к площади поперечного сечения трубы, которое обеспечивает максимальную скорость фронта пламени на начальном этапе распространения пламени водородно-воздушных смесей с содержанием водорода 15 и 20 об.% и оно составляет 92.7%.

- показано, что в плоских зазорах толщиной от 3 до 5 мм фронт пламени в бедных водородно-воздушных смесях с содержанием водорода от 7 до 10 об.% распадается на отдельные «колпачкообразные» ячейки при локальном затухании искривленного фронта в вогнутостях.

- предложен критерий распада фронта пламени в плоском зазоре на основе модифицированного числа Пекле, который позволяет предсказывать тенденцию фронта пламени к распаду на отдельные ячейки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- модель «обратного пальцеобразного» пламени может использоваться как в расчетных работах, так и учитываться при конструировании водородных энергетических установок. Преимущества периферийного воспламенения перед центральным выражающееся в более высокой скорости распространения фронта пламени может повысить эффективность работы двигателей внутреннего сгорания.

- распад фронта пламени в плоском зазоре поднимает вопрос безопасности эксплуатации водородных топливных ячеек. «Колпачкообразные» пламена могут распространяться в плоских узких зазорах и нести риски воспламенения в случае утечки водорода. Условия существования «колпачкообразных» пламен чувствительны к толщине зазора и концентрации смеси, и данный режим горения может проявляться в местах, где не поддерживается дефлаграционное горение.

Значение полученных соискателем результатов **исследования для практики** подтверждается тем, что:

- полученные научные данные способствуют более детальному пониманию динамики горения водородно-воздушных смесей и могут существенно повлиять на создание более эффективных систем управления процессами горения. Это, в свою очередь, может повысить уровень безопасности в различных промышленных установках, включая двигатели внутреннего сгорания и горелочные устройства. Результаты исследования могут стать основой для разработки устойчивых и безопасных технологий использования водорода в энергетических системах и промышленных процессах.

Результаты могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, в организациях, разрабатывающих энергетическое оборудование, в частности в Объединенном институте высоких температур РАН, Институте теплофизики СО РАН, ФИЦ ХФ им. Н.Н. Семенова РАН, Институте проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, компаниях ПАО «Газпром», ГК «Росатом», ОАО «РЖД» и «КАМАЗ».

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что достоверность представленных данных определяется как методами проводимых исследований, так и сопоставлением результатов с работами различных научных групп. Так, например, распад фронта пламени в плоском зазоре происходит при параметрах толщины зазора и концентрации смеси, совпадающих с результатами научных групп НИЦ Курчатовский

Институт и Технологического Института Карлсруэ. Совпадение экспериментально полученных результатов с аналитической моделью подтверждает их достоверность.

Личный вклад соискателя состоит в том, что автором диссертации лично были спроектированы, сконструированы и собраны все используемые экспериментальные стенды вплоть до изготовления уникальных частей установок с применением соответствующих станков. Все эксперименты и последующая обработка их результатов также проводились автором лично. Была проведена синхронизация высокоскоростной и инфракрасной камеры. В процессе проведения экспериментов автором дорабатывались стенды и условия проведения экспериментов для достижения максимально точных результатов.

Апробация результатов исследования проводилась на 6 российских и международных конференциях и симпозиумах. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены при определяющем участии автора.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Ельянов Артём Евгеньевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, согласился с замечаниями и привел собственную аргументацию.

На заседании от 25.12.2024г. диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний присудить Ельянову Артёму Евгеньевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплофизика.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет 24.1.193.01 (Д 002.110.02) в количестве 26 человек, из них очно: 9 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 6 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, дистанционно: 4 доктора наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 26 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 26 против 0, недействительных бюллетеней - 0.